

H. 26L 视频编码算法性能分析

李学明 李 继

(北京邮电大学信息工程学院, 北京 100876)

摘 要 H. 26L 是新一代的视频编码标准. 同现有的视频编码标准相比, 新标准具有更高的编码效率和图象质量, 在容错能力和网络适应性方面也有新的特点. 采用 Bjøntegaard 提出的性能评估方法比较了 H. 26L 和 H. 263 的编码性能差异; 在此基础上, 用标准图象序列对 H. 26L 独有的几种编码技术进行了仿真, 定量分析了它们对提高编码性能贡献, 这对算法的进一步改进和优化具有很高的参考价值.

关键词 图象处理(510·4050) H. 26L 自适应运动精度 通用变长编码 自适应二进制算术编码

中图分类号: TN941.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)12-1450-07

Performance Analysis of H. 26L Video Coding Algorithm

LI Xue-ming, LI Ji

(School of Information Engineering of BUPT, Beijing 100876)

Abstract H. 26L is the next generation of video coding standard, it aims at higher coding efficiency and is developed by ITU-T and MPEG as a long-term standard. Some complicated techniques, such as spatial prediction in intra coding, integer cosine transformation (ICT), adaptive block size motion compensation, Adaptive Motion Accuracy (AMA), multiple reference frame prediction, universal variable length coding and content adaptive binary arithmetic coding (CABAC), these coding modes all use the H. 26L standard. In order to estimate each method's contributes to the performance, detailed simulation and analysis are provided in this paper. Simulation results show that CABAC can provide a fairly consistent improvement in coding efficiency of between 5% and 10%. How much coding gains that can be achieved by using multiple reference frame prediction highly depend on source content. As for the benefit of eighth-pixel motion estimation accuracy, we find it is only beneficial at high resolutions and high bit rates, and also contain high spatial detail. Finally, the use of different block sizes also provides a consistent improvement, averaging 16% bit savings if all block types are used versus using the 16×16 mode only. However, using 8×8 and larger blocks can capture most of the benefit of the different block sizes, although the smaller blocks become more beneficial as the bit rate is increased. These results will help people to perform further improvements and optimization to the algorithm.

Keywords H. 26L adaptive motion accuracy, Universal variable length coding, Content adaptive binary arithmetic coding

0 引 言

H. 26L 是新一代的视频编码标准, 早在 1997 年, ITU-T 的视频编码专家组 (video coding experts group, VCEG) 就率先开始了 H. 26L 算法的研究工

作, 到 2001 年年底, H. 26L 的压缩质量和效率超过了当时广泛使用的 H. 263 标准, 从而引起了各方面的注意. 同年, ISO/IEC 的 MPEG 小组开始加入 ITU-T 的 VCEG 小组, 他们组成了一个联合视频小组 JVT (Joint Video Team), 其目标是制定一个新的视频编码标准^[1], 这就是 H. 26L. 虽然 H. 26L 采

用了与 H. 261、H. 263 相似的编码器总体结构,但是在编码算法上却采用了一系列新的技术以提高编码性能^[2],其主要包括:(1)帧内预测编码;(2)多种块尺寸运动搜索;(3)自适应运动矢量精度(可达 1/8 像素);(4)多帧运动运动搜索;(5)整数余弦变换(integer cosine transform, ICT);(6)通用变长编码(UVLC, universal variable length coding)或者基于内容的自适应二进制算术编码(context-based adaptive binary arithmetic coding, CABAC)等^[3,4]。

与 H. 263 算法相比,H. 26L 的性能有很大的提高,主要表现在以下几个方面:

(1) 最多可节省 50% 的比特率 在相同的编码质量条件下,H. 26L 比 H. 263v2 (H. 263+) 或 MPEG-4 最多可以节省 50% 的比特率。

(2) 更高的图象质量 H. 26L 在各种比特率条件下都可以提供满意的图象质量。

(3) 更好的网络时延适应能力 H. 26L 可以在低延时模式下工作以适应实时通信应用(例如会议电视等);在无延时要求的应用中(如视频存储,流式应用等),H. 26L 也可以在高延时模式下工作以取得最佳的压缩效果。

(4) 更强的容错能力 H. 26L 提供了相应的工具来处理包交换网络中的丢包和易于产生误码的无线信道中的误码问题。

(5) 更好的网络适应性 H. 26L 的另外一个特性就是它将视频编码层(video coding layer, VCL)和网络适配层(network adaptation layer, NAL)分离开来。视频编码层对视频图象内容进行压缩,而网络适配层则对压缩后的内容进行打包,再把它们送入不同类型的网络,这两层的分离使得对图象内容的打包和优先级控制变得更容易。

1 性能分析指标及其计算方法

通常情况下,人们常用两个指标来判决一种编码算法的优劣:编码输出的比特速率和信噪比。好的编码算法在同等质量(相同的信噪比)条件下输出的比特速率更低,或是在相同的比特速率条件下能提供更高的图象质量。也就是说必须先固定一个指标,然后再通过比较另一个指标来判定哪种算法更好。但是在实际应用过程中,很难精确控制两个算法的信噪比或比特速率完全相同,这样也就很难定量比

较两个算法的性能。即便是能精确控制两种算法的信噪比或比特速率完全相同,但在不同情况下性能的差别也可能有很大的不同。举例来说,假定两个算法的信噪比均为 34dB 时,两个算法的比特速率可能相差 10%;但是当两个算法的信噪比均为 26dB 时,很可能它们的比特速率的差别就变为 3%。

为了定量分析 H. 26L 的编码性能,采用 Bjøntegaard^[5]提出的算法定量计算不同算法的性能差异。Bjøntegaard 用一个三阶多项式来描述编码速率和图象质量之间的关系,即

$$snr = a + b \times bit + c \times bit^2 + d \times bit^3 \quad (1)$$

其中, a, b, c, d 为常数。由于式(1)中有 4 个常数,因此只需要 4 组测试值就可以求出这 4 个常数。利用这 4 个常数可以画出对应的拟合曲线。利用这条拟合曲线,可以估计出当编码速率为某个值时所对应图象的信噪声比。

在评估某种编码算法的性能时,需要先选取某个量化台阶,用仿真程序计算出此时的信噪比和输出速率,然后再选取另外 3 个不同的量化台阶,得到另外 3 组测试数据,最后将这 4 组测试数据代入式(1),得到线性方程组,求解方程后就可以得到 4 个待估计的常数。利用这种方法可以得到另一种编码算法的拟合曲线。利用这两条曲线,就可以定量计算出当编码速率为某个值时,两种算法各自的信噪比,从而判决出在这种编码速率下何种算法具有更好的性能。

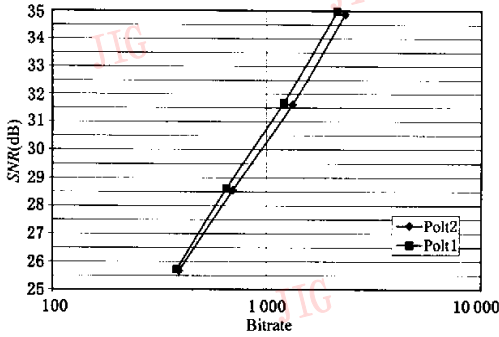
假定某种算法的 4 个测试点的比特速率分别为 $bit = [75.93 \quad 385.42 \quad 715.33 \quad 1106.24]$ (kb/s), 而对应的信噪比分别为

$$snr = [32.98 \quad 39.76 \quad 42.93 \quad 45.24]$$
 (dB)

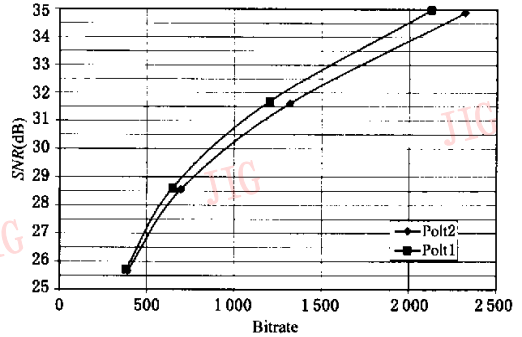
那么根据式(1)就可以计算出 a, b, c, d 4 个常数的值。

由于编码后的比特速率值通常比较高,为了便于数字计算,可以对码速率的数组取对数,比如 $\lg bit = [18.80 \quad 41.25 \quad 85 \quad 93]$,然后再利用式(1)构造一条拟合曲线。

显然,是否取对数将直接影响最终的拟合曲线,图 1 给出了采用普通坐标和对数坐标的例子。利用拟合曲线,可以估计出在某个速率下输出的信噪比,进而估计出不同算法总体性能的差异。在本文中主要计算以下两个性能指标来判定 H. 26L 的性能:总体的比特速率节省值和总体的信噪比增加值。



(a) 对数坐标的率失真曲线(比特速率取对数)



(b) 普通坐标的率失真曲线

图 1 不同坐标系下的率失真曲线(编码速率和信噪比关系曲线)

1.1 计算总体的信噪比增加值

计算总体的信噪比增加值时,采用式(1)所示的多项式进行近似,即将 4 个测试点的数据代入式(1)中得到一个四元一次方程组,求解得到系数 a, b, c, d . 这样就可以得到两条多项式近似曲线 snr_1 和 snr_2 , 随后,需要在共同的比特率范围内求各自积分(即计算面积)从而得到差值 Δsnr , 这个差值就是两种编码方法在积分范围内总的信噪比的差值,用这个差值除以积分范围就得到在这一范围内的总体信噪比增加值,单位是 dB.

1.2 计算总体的比特率节省值

计算总体的比特率节省值所采用的比特速率为

$$bit = a + b \times snr + c \times snr^2 + d \times snr^3 \quad (2)$$

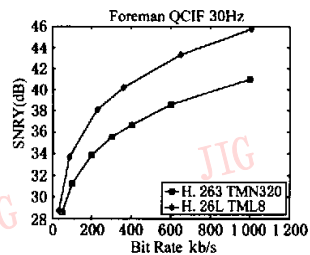
只要将 4 个测试点的数据代入式(2)中就能得到一个四元一次方程组,求解得到系数 a, b, c, d . 这样就可以得到 2 条多项式近似曲线 bit_1 和 bit_2 , 随后,在共同的信噪比范围内求各自积分(即:计算面积)从而得到差值 Δbit , 这个差值就是两种编码方法在积分范围内总的比特率的差值,用这个差值除以积分范围就得到在这一范围内的总体比特率的节省值,这里我们用百分比来表示.

2 H. 26L 与 H. 263 性能比较

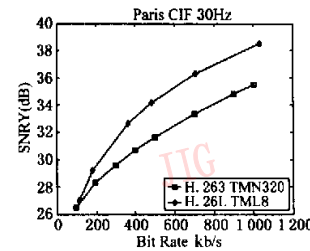
在分析 H. 26L 本身的编码特性之前,首先比较了 H. 26L 和 H. 263 在会议应用环境下的编码效率,即输入图象序列的运动不是特别剧烈,并且要求编解码器有较小的编码延时和适中的输出码率. 在算法测试时,H. 26L 算法采用 TML-8.0 版本,H. 263 采用 TMN3. 2. 0^[6]版本. 两种算法均采用全搜索方式进行运动搜索,搜索范围为 16 个像素. 为了

缩小编码延时,在仿真过程中没有使用 B 帧,即所有的测试序列首先进行 I 帧编码,然后进行一系列 P 帧编码.

测试序列为 QCIF 格式的 Foreman 和 CIF 格式的 Paris. 对 QCIF 序列,选取的量化步长分别为 28、20、13、10、6、3;对于 CIF 序列,选择的量化步长为 28、25、20、18、15、12. 通过比较编码后的平均比特率和编码后亮度信号的信噪比来比较它们的压缩效果. 图 2 给出了两个图象序列采用不同量化步长时的信噪比和比特速率的关系. 表 1 则给出了 H. 26L 和 H. 263 的总体编码性能的定量比较结果. 这里只给出了亮度分量信噪比(SNR_Y)的比较结果,而色度分量有类似的趋势.



(a) Foreman 序列



(b) Paris 序列

图 2 H. 26L 与 H. 263 编码性能比较

表 1 H. 26L 与 H. 263 总体编码性能比较

序列名称	比特率节省 (%)	亮度信噪比增加 (dB)
Foreman	69.235 9	3.624 7
Paris	36.570 7	1.885 5
平均值	52.903 3	2.755 1

从表 1 可以看出, H. 26L 虽然处在测试修改阶段, 但与 H. 263(TMN320)相比, H. 26L 算法的编码效率仍然有很大的提高, 尤其是在编码速率比较高的情况下, 其优势更加明显. 对 Foreman 和 Paris 这两个序列, 平均的比特率开销可节省 50%左右, 而信噪比也有 2.7dB 的提高.

3 H. 26L 编码特性分析

从上面的性能比较中可知, H. 26L 与 H. 263 的编码算法相比, H. 26L 的编码效率有很大提高. 那么, 究竟是那些技术提高了 H. 26L 的编码性能呢? 下面将定量分析 H. 26L 特有的一些编码技术对提高编码效率的贡献.

这些关键技术包括: 运动搜索的 7 种不同大小的搜索块, 自适应运动矢量精度(1/4 像素和 1/8 像素), 两种熵编码方式(通用变长编码 UVLC 和基于内容的自适应二进制算术编码 CABAC)以及多个预测参考帧(最多至 5 帧).

在进行这些性能比较时, 仍然使用 H. 26L TML-8.0 编码器, 并使用上面所述的方法来计算编码特性. 默认的编码配置为: 5 个运动搜索参考帧, 通用变长熵编码(UVLC), 1/4 像素精度的运动矢量, 使用所有的 7 种运动搜索块, 不使用 B 帧. 运动搜索范围为 32 个像素的全搜索, 只在评估多个预测参考帧的效果时使用, 其他的情况下都使用 16 个像素的全搜索. 在测试过程中, 选择较多的测试序列, 这样就可以尽量减少图象内容对编码效果的影响,

表 2 列出了所选择的测试序列.

表 2 测试使用的编码序列

序列	格式	帧率 (fps)	编码帧数
Foreman	QCIF	30	100
News	QCIF	30	100
Paris	CIF	30	100
Mobile & Calendar	CIF	30	100

3.1 运动搜索块大小对编码性能的影响

前面已经提到过, 在进行运动估计时, 对于每一个 16×16 个像素的宏块, H. 26L 算法可以采用 7 种不同大小的块进行处理, 每种搜索块大小所得运动矢量的个数也各有不同. 搜索块越小, 运动搜索的结果越精确, 特别是对那些细节较多的图象, 但是其代价是更大的编码延时和传送更多的运动矢量. 同时, 算法所支持的搜索块类型越多, 编码器和解码器的复杂度也会显著增加.

首先根据块大小对算法进行分组, 先使用较大的搜索块, 之后逐步加入较小的搜索块, 比较新加入的搜索块类型对编码效率的贡献, 具体的分组方法如表 3 所示.

表 3 运动搜索性能分析所使用的块分组

搜索模式	使用的块大小
1	16×16
2	$16 \times 16, 8 \times 8$
3	$16 \times 16, 16 \times 8, 8 \times 16$
4	$16 \times 16, 16 \times 8, 8 \times 16, 8 \times 8$
5	$16 \times 16, 16 \times 8, 8 \times 16, 8 \times 8, 8 \times 4, 4 \times 8$
6	$16 \times 16, 16 \times 8, 8 \times 16, 8 \times 8, 8 \times 4, 4 \times 8, 4 \times 4$

编码算法的其他参数为: 5 个运动搜索参考帧, 通用变长熵编码(UVLC), 1/4 像素精度的运动矢量, 运动搜索范围 16 个像素, 不使用 B 帧. 所有的编码结果都和只使用 16×16 一种搜索块所得的结果进行比较. 图 3 给出了 Foreman 序列的仿真曲线, 而表 4 给出了其他序列仿真的详细结果.

表 4 运动估计搜索模式对编码性能的影响

测试序列	格式	模式 2	模式 3	模式 4	模式 5	模式 6	
比特率节省 (%)	Foreman	QCIF	11.661 6	12.660 6	15.507 7	16.407 6	16.869 7
	News	QCIF	12.365 3	11.475 9	14.037 7	19.133 2	19.133 2
	Mobile	CIF	9.889 7	11.515 7	13.414 9	16.232 6	16.429 3
	Paris	CIF	14.332 3	14.604 4	17.381 9	21.543 3	21.953 3
	平均比特率节省		12.062 2	12.564 2	15.085 6	18.329 2	18.596 4
亮度信噪比增值 (dB)	Foreman	QCIF	0.604 5	0.639 2	0.786 1	0.872 4	0.891 4
	News	QCIF	0.834 6	0.724 2	0.907 0	1.284 0	1.284 0
	Mobile	CIF	0.497 4	0.563 5	0.651 8	0.793 6	0.820 0
	Paris	CIF	0.815 3	0.824 3	0.980 0	1.230 3	1.259 3
	平均亮度信噪比增加		0.687 9	0.687 8	0.831 2	1.045 1	1.063 7

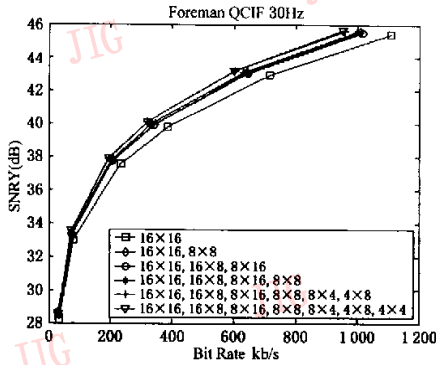


图 3 运动补偿搜索块大小对编码性能的影响 (Foreman 序列)

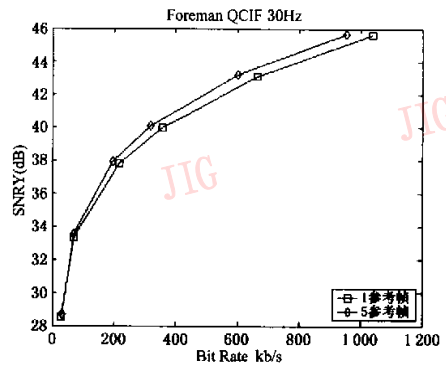


图 4 使用多个参考帧对编码性能的影响

通过比较可以得到如下结论:如果使用全部 7 种运动搜索块尺寸(表 3 中的模式 6)进行编码,那么平均能节省约 18% 的编码比特.同时也可以看到,从模式 3 到模式 4(增加了 8×8 搜索块),比特率节省有一个较大的提高,即从 12.5% 到 15%,从模式 4 到模式 5 也有一个大的提高(增加了 8×4 和 4×8 搜索块),即从 15% 到 18.3%;而从模式 5 到模式 6 没有特别大的变化.由此看出运动搜索模式中是否包含 8×8、8×4、4×8 3 种搜索块大小对于编码性能的提升有比较大的作用;而 4×4 的搜索块只在量化参数较小,码速率较高的情况下才能够达到较佳的提升效果.因此,在编码延时和编码效果发生矛盾时,应该首先选用模式 4、模式 2 或模式 5.

3.2 多个参考帧对编码性能的影响

对于大部分的图象序列,使用多个参考帧进行运动预测意味着允许编码器在宏块级上选择运动搜索的参考帧,以达到提高编码效率的目的.为支持多参考帧,编码器和解码器都要增加内存来储存已编码的图象,同时运动搜索时的计算复杂度也会大幅增加.

在目前的 H. 26L 算法中,采用了简单的滑动窗口的方法来选择参考帧,即编码器从最近的 5 个参考帧中选择效果最好的一个作为实际使用的参考帧.为比较多个参考帧对编码性能的影响,先只采用一个参考帧进行预测,然后再采用 5 个参考帧进行预测,其他的编码设置完全相同.图 4 给出了对 Foreman 序列的仿真结果,表 5 给出了其他序列的详细结果.

从仿真结果可以看出:采用多个预测参考帧所带来的性能提升与测试序列的内容有很大关系,也

表 5 使用 5 个参考帧对编码性能的影响

5 个参考帧相对于 1 个参考帧对编码性能的影响			
测试序列	格式	亮度信噪比增加 (dB)	比特率节省 (%)
Foreman	QCIF	0.400 3	6.590 5
News	QCIF	0.023 8	0.439 8
Mobile	CIF	1.027 2	20.456 7
Paris	CIF	0.045 3	0.694 1
平均值		0.374 2	7.045 3
最小值		0.023 8	0.439 8
最大值		1.027 2	20.456 7

就是说与图象内容紧密相关.对于大多数的测试序列,使用多个预测参考帧所带来的增益不超过 7%,但是对于测试序列 Mobile 却能节省超过 20% 的比特率开销.这说明通过设计一个自适应算法,根据图象内容来决定是否采用多个预测参考帧将有可能大大提高编码效果,并减小编码延时和内存的开销.

3.3 两种熵编码方法对编码性能的影响

如前所述,H. 26L 算法支持 UVLC 和 CABAC 两种熵编码方法.UVLC 通用变长编码的优点是实现起来简单,计算量也小.由于它为每一个符号分配了一个唯一的可逆的变长码,因此它抗误码的能力也比较强.相比之下,CABAC 的编码效率要高得多,它能够根据图象内容自动调整编码器参数,得到一个近似最佳的编码结果,这种编码方法的缺点就是复杂度较高.

在仿真测试中,通过改变熵编码方法来比较它们不同的性能.图 5 给出了 Paris 序列的仿真结果,而表 6 给出了其他序列的仿真结果.

从仿真结果来看,对不同的测试序列,自适应二进制算术编码都能够提供较好的提升编码效率,其比特率开销的节省值约在 5%~10% 之间.从图 5 的

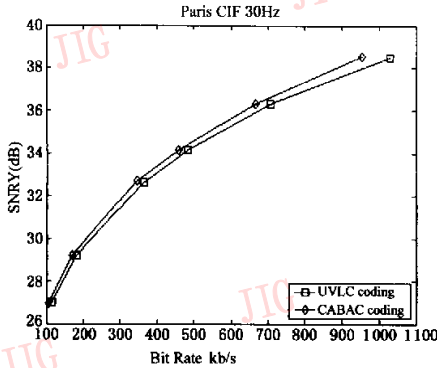


图 5 不同的熵编码方法对编码性能的影响

表 6 不同的熵编码方法对编码性能的影响

CABAC 相对于 UVLC 对编码性能的影响			
测试序列	格式	亮度信噪比增加 (dB)	比特率节省 (%)
Foreman	QCIF	0.306 0	6.469 3
News	QCIF	0.442 7	6.940 1
Mobile	CIF	0.385 7	7.571 9
Paris	CIF	0.328 4	5.417 1
平均值		0.365 7	6.599 6
最小值		0.306 0	5.417 1
最大值		0.442 7	7.571 9

曲线中还发现,在所有的比特率范围内 CABAC 都能带来一定编码效率的提高,而且码率越高其效果越明显.因此采用 CABAC 将是 H. 26L 的趋势,最新发布的草案也证明了这一点.

3.4 运动矢量精度对编码性能的影响

在目前的 H. 26L 测试模型中,默认的运动矢量精度是 1/4 像素,同时还提供了 1/8 像素精度作为可选项.运动矢量的精度越高,运动矢量就越准确,所得到的预测误差就越小,能够减少传送的比特数.但是,从另一方面来看,要得到更高精度的运动矢量,就需要使用多阶的滤波器对原始图象进行内插,这样就会增加编码器的复杂度,加大所需的内存和处理时间,同时也需要更多的比特数来传送运动矢量本身.这里给出了 1/4 像素精度和 1/8 像素精度的比较结果,图 6 给出的是 Foreman 序列的仿真结果,而表 7 给出的是其他序列的仿真结果.通过仿真结果,可以看到,一般情况下,使用 1/8 像素精度的运动矢量所带来的编码效率的提高与它所带来的编码器的复杂度增加不成比例,尤其是对于低码率的 QCIF 图象,甚至有可能使编码效率降低.这是由于在低比特率的情况下,表示运动矢量的比特数在整个比特流中所占比例很大,采用更高精度的运动矢

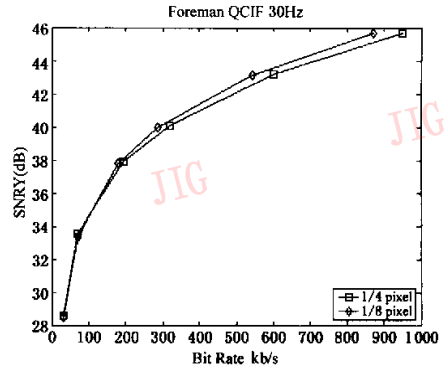


图 6 运动矢量像素精度对编码性能的影响

表 7 运动矢量精度对编码性能的影响

1/8 像素运动矢量精度相对于 1/4 像素运动矢量精度对编码性能的影响			
测试序列	格式	信噪比增加 (dB)	比特率节省 (%)
Foreman	QCIF	0.055 3	-0.497 6
News	QCIF	0.085 7	1.346 2
Mobile	CIF	0.626 5	12.019 4
Paris	CIF	0.019 6	-0.060 5
平均值		0.196 8	3.201 9
最小值		0.019 6	-0.060 5
最大值		0.626 5	12.019 4

量所带来的好处不能弥补传送更高精度运动矢量本身所带来的比特数的增加.但是,如果编码图象的保真度很高,即码速率很高时,用来表示 1/8 像素精度运动矢量的比特数在整个比特流中所占的份额很小,这时,由于运动预测更准确所带来的编码效率的提高就能体现出来.

4 结 论

本文比较了 H. 26L 和 H. 263 的编码性能,并详细分析了各种技术对于提升 H. 26L 编码性能的影响.通过对仿真结果的分析,可以得出如下结论:与目前所广泛采用的视频编码算法(H. 263, MPEG4 等)相比,H. 26L 可以大幅度提高编码效率;在 H. 26L 的新编码特性中,自适应二进制算术编码在所有的比特率范围内都能够节省 5%~10% 的比特开销;使用全部 7 种大小的运动搜索块进行运动搜索可以将编码效率提高 18% 左右,但是 8×8、8×4、4×8 以上的搜索块大小对这部分性能的提升贡献最大,更小的搜索块只有在高比特率的情况下才有明显效果;使用多个预测参考帧的效果

与图象序列的内容有很大关系,因此根据图象内容决定是否使用这一特性是必要的;对于运动矢量,在中低码率情况下,1/4 像素精度就已足够,更大的精度很可能使编码效率下降,只有在压缩比很小,图象保真度很高的情况下才可以考虑使用这种精度.由此可见,H.26L 的性能提升是多种因素共同作用的结果,这里分析的只是其中一些比较主要的因素,其他的因素还有待进一步分析.

参考文献

- 1 Zeug M. Workplan and objectives for H.263L[EB/OL]. ftp://standards.pictel.com/video-site/9706-Por/q15a07.doc 1997-06-16/2002-04-15.
- 2 H.26L TML-8.0 software [CP/OL]. ftp://standard.pictel.com/video-site/h26l/tml80.zip 2001-08/2002-7-10.
- 3 Gisle Bjøntegaard, Louis Kerofsky. H.26L core experiment on adaptive motion accuracy(AMA) for 1/2, 1/4, and 1/8 Sample Accuracy Motion Compensation [EB/OL]. ftp://standards.pictel.com/video-site/0005_Osa/q15j09.doc 2003-03-06/2002-04-15.
- 4 Witten I H *et al.* Arithmetic coding for data compression[J]. Communication of ACM, 1987,30(6):520~541.

- 5 Bjøntegaard G. Calculation of average PSNR differences between RD-curves [EB/OL]. ftp://standards.pictel.com/video-site/0104-Aus/VCEG-M33.doc, 2001-03-28/2002-04-12.
- 6 ITU-T H.263 Research Library, version 0.3[CP/OL]. http://www.ece.uhc.ca/spmg/h263plus/h263plus.html 2001-04/2002-07.



李学明 1969年生,工学博士、副教授,1997在北京邮电大学获工学博士学位,同年进入北方交通大学信息所做博士后,2002年在德国卡尔斯鲁厄大学计算机学院多媒体中心做访问学者.主要研究方向包括图象处理、视频编码与传输、计算机网络和数据通信.目前已在该领域发表论文10余篇,多篇论文被EI检索.



李健 1976年生,1999年于北京邮电大学电信工程学院获工学学士学位,2003年于北京邮电大学获工学硕士学位,其间曾于2002年到德国卡尔斯鲁厄大学计算机学院学习.主要研究方向包括H.26L 图象编码算法研究、VOD系统和远程教育.